บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาร์ติโชก (*Cynara scolymus* L.)

อาร์ติโชก เป็นพืชผักและพืชสมุนไพรในยุโรป มีการเพาะปลูกครั้งแรกในเมืองเนเปิลส์ ประเทศอิตาลี และเจริญอยู่ทั่วไปในเขตอบอุ่นแถบเมดิเตอเรเนียนของอเมริกาเหนือและยุโรปตอนใต้ ในทวีปยุโรปมีการเพาะปลูกอาร์ติโชกเพื่อการค้าถึงร้อยละ 85 ของโลก โดยมีประเทศอิตาลี เป็นผู้นำในการผลิตถึงร้อยละ 57 (ประมาณ 474,000 ตัน) ตามด้วยประเทศสเปนร้อยละ 32 (ประมาณ 215,000 ตัน) และฝรั่งเศสร้อยละ 8 (ประมาณ 55,000 ตัน) (FAO, 2007; Mabeau *et al.,* 2007) ซึ่งความต้องการอาร์ติโชกในต่างประเทศสูง เช่น ประเทศสเปนมีอัตราการบริโภคอาร์ติโชกเฉลี่ย 2.6 กรัมต่อวันต่อคน (Mabeau *et al.,* 2007)

การเพาะปลูกอาร์ติโชกในแถบเอเชีย เริ่มจากประเทศอิตาลีและสเปน เข้าสู่ประเทศจีนครั้งแรกในปี ค.ศ. 1990 ซึ่งมีการเพาะปลูกเพื่อการค้าในปี 2001 ที่ บริษัท Yandi Agricultural Development จำกัด เมืองคุนหมิง ทางตอนใต้ของจีน ประเทศจีนมีการนำอาร์ติโชกมาใช้ทำชาและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยปี 2007 ประเทศจีนมีการผลิตอาร์ติโชกประมาณ 65,000 ตัน (Zhu *et al.,* 2004; FAO, 2007) ส่วนในประเทศเวียดนามมีการบริโภคอาร์ติโชกสด นำมาประกอบอาหารและหั่นตากแห้งทำเป็นชาชงดื่ม แหล่งปลูกอาร์ติโชกในเวียดนามมีแห่งเดียวที่ให้ผลดีที่สุด คือ เมืองดาลัท จังหวัดลามดอง ซึ่งตั้งอยู่เหนือระดับน้ำทะเลถึง 1,600 เมตร (ศักดา, 2547)

อาร์ติโชกเป็นพืชในตระกูล Asteraceae หลักอนุกรมวิธาน (Taxonomy) ของอาร์ติโชกเรียงลำดับดังนี้

Kingdom:	Plantae
Order:	Asterales
Family:	Asteraceae
Subfamily:	Carduoideae
Tribe:	Cynareae
Genus:	*Cynara*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Species: *C. cardunculus*

Binomial name *Cynara cardunculus*

Synonyms: *Cynara scolymus* L.

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อาร์ติโชก (ภาพที่ 2.1) เป็นพืชข้ามปีมีอายุ 5-10 ปี เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ทรงต้นขนาดใหญ่ ทรงพุ่มกว้างประมาณ 1 เมตร ความสูงของต้นประมาณ 90-150 เซนติเมตร อาร์ติโชกจะประกอบไปด้วยส่วนดอก ใบ ลำต้น และราก (นรินทร์ชัย และเกรียงศักดิ์, 2533; นิพนธ์, 2530)

ภาพที่ 2.1 อาร์ติโชก
ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ มูลนิธิโครงการหลวง (2553)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดอก

ลักษณะของดอกอาร์ติโชกจะมีกลุ่มของกลีบดอกซ้อนกันเป็นชั้นๆ คล้ายดอกบัวที่อยู่บนก้านดอกขนาดใหญ่ ดอกจะมีขนาดใหญ่และมีเนื้อมากกว่า Cardoon ซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่ม Thistle tribe เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพบว่า ดอก Cardoon มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าดอกอาร์ติโชก (Fratianni *et al.,* 2007) โดยสีของดอกอาร์ติโชกจะมีตั้งแต่สีเขียวและสีม่วงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ขนาดของดอกขึ้นอยู่กับความยาวของก้านดอก และตำแหน่งที่ดอกเจริญ

ส่วนดอกอ่อน (Capitulum) จะมีขนาดเล็ก และไม่เจริญเต็มที่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร สามารถนำมาบริโภคได้ มีรสชาติดี นำมาปรุงอาหารโดยวิธีต้มหรือนึ่ง ส่วนโคนของส่วนที่คล้ายกลีบดอกซึ่งค่อนข้างหนา และส่วนฐานของกลีบดอกอ่อนนำมาปรุงอาหารได้เช่นกัน นอกจากนี้สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ดอง น้ำสลัด แยม เครื่องดื่มเข้มข้น แช่แข็งและบรรจุกระป๋อง

ส่วนดอกอาร์ติโชกที่มีขนาดใหญ่ จะเรียก "Bud" หรือ "Choke" โดยส่วนที่บริโภคได้คือ ส่วนของใบประดับ ส่วนของดอกที่อ่อน และส่วนของฐานรองดอก รวมไปถึงลำต้นอ่อน ดอกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะเจริญจากส่วนยอดของก้านดอกหลัก รองลงมาคือดอกที่เจริญจากก้านดอกแขนงจากก้านดอกหลัก ระยะเหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวคือ เมื่อดอกเจริญเต็มที่แต่กลีบดอกจะปิดแน่นหรือก่อนกลีบดอกบาน ผลผลิตของดอกจะประมาณ 24 ถึง 48 ดอกต่อต้นต่อฤดู การเก็บเกี่ยวดอกอาร์ติโชกในส่วนของดอกไม่บานจะตัดจากใต้โคนดอกลงมาถึงก้านให้มีความยาวประมาณ 2-3 นิ้ว ซึ่งระยะเวลาการเก็บเกี่ยวจะยาวนานมาก ส่วนดอกบานจะมีสีขาวหรือม่วง ซึ่งสามารถนำไปเป็นดอกไม้ประดับแจกันได้

ใบ

ใบของอาร์ติโชกจะมีขนาดใหญ่ เนื้อใบหนาค่อนข้างแข็ง ขอบใบหยักลึกคล้ายเลื่อย ปลายใบแหลม มีสีเขียวปนเทา หรือขาวปนเทา ซึ่งจะติดกับข้อสั้นออกมาจากลำต้นที่มีขนาดใหญ่ ลำต้นสูงประมาณ 100-130 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ราก

รากอาร์ติโชกจะลึกประมาณ 160 เซนติเมตร รากของหน่อในระยะแรกจะเป็นราก แขนงจำนวนมาก ซึ่งต่อมามีการพัฒนาเป็นรากแก้ว และมีขนาดใหญ่

โดยทั่วไปอาร์ติโชกเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่มีหมอกจัดในฤดูร้อน อุณหภูมิปานกลางในฤดูหนาว มีอุณหภูมิกลางคืนต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงตลอดปี การขยายพันธุ์อาร์ติโชกทำได้หลายวิธีได้แก่ การใช้เมล็ดปลูก เมื่อมีการเจริญเติบโตเต็มที่ นิยมใช้กับพันธุ์ลูกผสม วิธีนี้ทำได้ช้าต้องใช้เวลาและขั้นตอนมาก ส่วนการขยายพันธุ์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีการขยายพันธุ์ที่ดีที่สุด ได้ผลผลิตปริมาณมากและมีคุณภาพ แต่มีความยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายสูง แต่วิธีนิยมคือ การแยกหน่อที่สมบูรณ์ ซึ่งต้นแม่จะผลิตหน่อจากตาหน่อด้านข้างที่อยู่ใต้ดินและจะมีประมาณ 15-20 ตาต่อต้น แต่ส่วนใหญ่จะพักตัวและมีเพียง 6-8 หน่อที่เจริญขึ้นมาเป็นต้นใหม่ (Scott, 1931) ต้นใหม่จะสร้างตาหน่อด้านข้างและแตกหน่อใหม่ในฤดูต่อไป ซึ่งจะทำให้กอมีขนาดใหญ่ขึ้นหลังจากปลูกหลาย ๆ ปี

สายพันธุ์ของอาร์ติโชก

สายพันธุ์ของอาร์ติโชกมีหลายสายพันธุ์ เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกด้วยเมล็ดจึงทำให้มีความแปรปรวนในด้านพันธุกรรมสูง จึงมีพันธุ์ที่มีลักษณะเหมือนกัน และใกล้เคียงกัน อาจแตกต่างกันในด้านลักษณะ รูปร่าง ขนาด สีของดอก รูปร่าง การบิดงอของใบ และปริมาณผลผลิต ตัวอย่างของสายพันธุ์อาร์ติโชก แบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ดังนี้ (นิพนธ์, 2530; Diane *et al.,* 1995)

1. สายพันธุ์ที่ใช้หน่อในการขยายพันธุ์

1.1 สายพันธุ์ที่มีดอกสีเขียว ขนาดใหญ่ ได้แก่ Castal, Green globe เพาะปลูกเพื่อการค้าในประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2 สายพันธุ์ที่มีดอกสีเขียว ขนาดกลางได้แก่ Blanc de Tudela

1.3 สายพันธุ์ดอกสีม่วง ขนาดใหญ่ ได้แก่ Romanesco

1.4 สายพันธุ์ดอกสีม่วง ขนาดกลาง ได้แก่ Violet de Provence, Baladi

1.5 สายพันธุ์ที่มีหนาม ได้แก่ Spinoso sardo

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. สายพันธุ์ที่ใช้เมล็ดในการขยายพันธุ์

2.1 สายพันธุ์ปลูกเพื่ออุตสาหกรรม ได้แก่ Madrigal, Imperial Star

2.2 สายพันธุ์ที่มีดอกสีเขียว ได้แก่ Symphony, Harmony

2.3 สายพันธุ์ที่มีดอกสีม่วง ได้แก่ Concerto, Opal, Tempo

ปัจจุบันมีการปรับปรุงสายพันธุ์อาร์ติโชกเพิ่มมากขึ้น เพื่อเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก ความต้องการทางการตลาด โดยประเทศอิตาลีจัดเป็นแหล่งพันธุ์พืชอาร์ติโชก มีทั้งสายพันธุ์เพื่อการค้า และสายพันธุ์ท้องถิ่นที่พัฒนาตามความแตกต่างของสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจัยนี้อาจส่งผลต่อโครงสร้างองค์ประกอบสารเคมีในอาร์ติโชก โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางด้านเภสัชกรรม (Fratianni *et al.,* 2007)

อาร์ติโชกสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์

สายพันธุ์นี้ได้รับการพัฒนาเพื่อการค้า โดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เป็นพันธุ์ลูกผสม มีการเพาะปลูกกันมากในแถบชายฝั่งทางใต้ของแคลิฟอร์เนีย และพื้นที่ทะเลทรายของแคลิฟอร์เนียและแอริโซนา ลักษณะของสายพันธุ์เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดี สามารถขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ดอกค่อนข้างกลมมีขนาดปานกลาง มีสีเขียวเข้ม ภายในมีส่วนของฐานรองดอก (Hearts) ขนาดเล็ก ทนต่อโรคได้ดี ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้กว้างขวาง อาร์ติโชกสายพันธุ์อิมพีเรียลสตาร์ต้องการระยะเวลาที่ผ่านอุณหภูมิต่ำในการกระตุ้นให้เกิดการเจริญของดอกสั้นกว่าอาร์ติโชกสายพันธุ์ Green Globe และมีความสม่ำเสมอในลักษณะประจำพันธุ์สูง (Diane *et al.,* 1995)

อาร์ติโชกในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยอาร์ติโชกไม่ค่อยเป็นที่รู้จักกันมากนัก ในอดีตมีผู้ทดลองปลูก แต่ไม่ค่อยประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร มูลนิธิโครงการหลวงได้ทดสอบสายพันธุ์อาร์ติโชกจากประเทศอิตาลี เช่น HV 271, Grosso Romanesco, Grosso Dirmagna และ Violetto de Provence พบว่า พันธุ์ HV 271 และ Grosso Romanesco เจริญเติบโตดี แต่ดอกไม่เจริญ เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน สำหรับอาร์ติโชกสายพันธุ์อเมริกาอย่างเช่น Imperial Star Hybrid และ Green Globe Improve เมื่อทดลองเพาะปลูกค่อนข้างจะให้ผลผลิตดีและลักษณะของดอกสม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหมาะที่จะปลูกในพื้นที่โครงการหลวง อาร์ติโชกสายพันธุ์จากเวียดนาม เมื่อนำมาทดลองเพาะปลูกจะมีลำต้นสูง ลักษณะของดอกไม่สม่ำเสมอ (นิพนธ์, 2530)

ปัจจุบันการเพาะปลูกอาร์ติโชกในประเทศไทยเพื่อการค้าและอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่สูงทางตอนเหนือของประเทศไทย มีความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเล 1,000 เมตรขึ้นไป และสภาพอากาศเย็น ได้แก่ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง, ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ, ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงวัดจันทร์ โดยเริ่มปลูกในช่วงเดือนกันยายน ลักษณะการเพาะปลูกในประเทศไทยจะปลูกเป็นพืชฤดูเดียว และเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ผลผลิตส่วนดอกของอาร์ติโชกจะจำหน่ายให้โรงแรม ภัตตาคาร ธุรกิจทางด้านอาหารต่างๆ ราคาขึ้นอยู่กับคุณภาพ ประมาณ 100-150 บาท ส่วนใบและรากใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานแปรรูปฯ มูลนิธิโครงการหลวง เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชาอาร์ติโชก

คุณค่าทางโภชนาการ

ปัจจุบันชาวต่างชาตินิยมบริโภคอาร์ติโชกแพร่หลาย เนื่องจากในส่วนดอกอาร์ติโชกประกอบด้วยแร่ธาตุและวิตามิน ดังตารางที่ 2.1 โดยดอกอาร์ติโชกไม่มีไขมัน เป็นแหล่ง ที่ดีของวิตามินซี โฟเลท แมกนีเซียม และ Dietary fiber (Marakis *et al*., 2002)

ส่วนใบของอาร์ติโชก (Orlovskaya *et al*., 2007) ประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 15 ชนิด แบ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นได้แก่ Valine, Threonine, Methionine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine, Histidine และ Arginine มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นคิดเป็นร้อยละ 4.71 (หรือประมาณร้อยละ 58.29 ของกรดอะมิโนทั้งหมด)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการในอาร์ติโชก

ชนิดของสาร ต่อ 100 กรัม	**หน่วย**	**อาร์ติโชก (ลำต้นและกลีบเลี้ยง ดอกที่สามารถรับประทานได้)**	
		สด	**ผ่านกระบวนการให้ความร้อน**
น้ำ	g	84.94	84.08
พลังงาน	kJ	197	220
โปรตีน	g	3.27	2.89
น้ำมันทั้งหมด (Fat)	g	0.15	0.34
เถ้า	g	1.13	0.74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการในอาร์ติโชก (ต่อ)

ชนิดของสาร ต่อ 100 กรัม	**หน่วย**	**อาร์ติโชก (ลำต้นและกลีบเลี้ยง ดอกที่สามารถรับประทานได้)**	
		สด	**ผ่านกระบวนการให้ความร้อน**
คาร์โบไฮเดรต, by difference	g	10.51	11.95
เส้นใย	g	5.40	8.60
น้ำตาล	g	0.99	0.99
แร่ธาตุ			
แคลเซียม, Ca	mg	44	21
เหล็ก, Fe	mg	1.28	0.61
แมกนีเซียม, Mg	mg	60	42
ฟอสฟอรัส, P	mg	90	73
โพแทสเซียม, K	mg	370	286
โซเดียม, Na	mg	94	60
สังกะสี, Zn	mg	0.49	0.40
ทองแดง, Cu	mg	0.23	0.13
แมงกานีส, Mn	mg	0.26	0.23
ซีลีเนียม, Se	mcg	0.20	0.20
วิตามิน			
วิตามินซี, Total ascorbic acid	mg	11.70	7.40
ไทเอมีน	mg	0.07	0.05
ไรโบฟลาวิน	mg	0.07	0.09
ไนอะซิน	mg	1.05	1.11
วิตามินบี 5	mg	0.34	0.24
วิตามินบี 6	mg	0.12	0.08
โฟเลท	mcg	68	89
โคลีน	mg	34.40	34.40
บีเทน	mg	0.20	0.20
วิตามินเอ, IU	IU	13	13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการในอาร์ติโชก (ต่อ)

ชนิดของสาร ต่อ 100 กรัม	หน่วย	อาร์ติโชก (ลำต้นและกลีบเลี้ยง ดอกที่สามารถรับประทานได้)	
		สด	ผ่านกระบวนการให้ความร้อน
แคโรทีน, beta	mcg	8	8
ลูทีน+ซีแซนทีน	mcg	464	464
วิตามินอี (Alpha-tocopherol)	mg	0.19	0.19
วิตามินเค (Phylloquinone)	mcg	14.80	14.80
คอเลสเตอรอล	mg	0	0

ที่มา: USDA (2009)

องค์ประกอบสารสำคัญที่พบในอาร์ติโชก

กลุ่มของน้ำตาลอินนูลินและพอลิแซ็กคาไรด์

ดอกอาร์ติโชกมีน้ำตาลรีดิวซ์ และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำสูงเช่น อินนูลิน ดังตารางที่ 2.2 โดยอินนูลินเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่พืชเก็บไว้เป็นอาหาร โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทสหลายโมเลกุลต่อกันเป็นเส้นยาว ด้วยพันธะ ß-2,1 Fructans ไม่มีกิ่งก้านสาขา ไม่มีกรดยูโรนิกและมีโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส บริเวณปลายของโครงสร้างโมเลกุลจับกับน้ำตาลฟรักโทส ความยาวของโมเลกุลน้ำตาล Fructans อยู่ระหว่าง 2-60 โมเลกุล คนและสัตว์ไม่สามารถย่อยได้พบในพืชมากกว่า 36,000 ชนิด ในพืชตระกูล Asteraceae ที่พบอินนูลิน Fructans ได้แก่ Chicory (*Cichorium intybus* L.), Jerusalem artichoke (*Helianthustuberosus* L.), Artichoke (C. *scolymus*), Dandelion (*Taraxacum officinale*), Dahlia (*Dahlia variabilis*) และ Yacon (*Polymnia sonchifolia*) (Hellwege *et al.,* 1998, 2000)

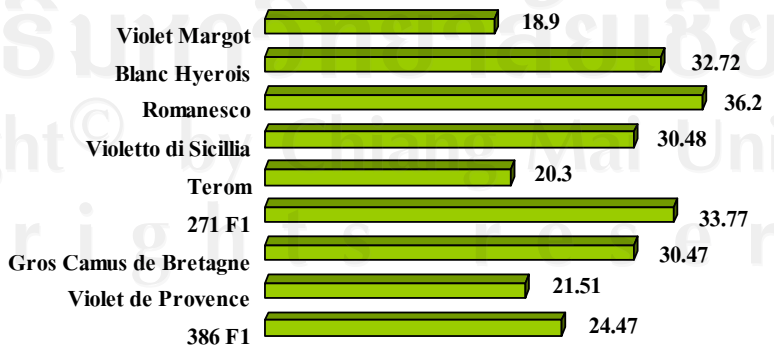
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ ในส่วนดอกที่บริโภคได้ของอาร์ติโชกพันธุ์ Romanesco

ชนิดของน้ำตาล	ร้อยละของน้ำหนักสด	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง
กลูโคส	0.44	3.18
ฟรักโทส	0.18	1.27
ซูโครส	0.98	6.98
อินนูลิน	5.18	37

ที่มา: Lattanzio *et al.* (2009)

การศึกษาการสกัดอินนูลินในส่วนรับประทานได้ของดอกอาร์ติโชกหลายสายพันธุ์ ดังภาพที่ 2.2 พบว่า ส่วนรับประทานได้ของดอกอาร์ติโชกมีปริมาณของอินนูลินและน้ำตาลรีดิวซ์สูง โดยเฉพาะส่วนของฐานรองดอก ปริมาณอินนูลินที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 18.9-36.2 ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งสายพันธุ์ Romanesco มีปริมาณอินนูลินสูงสุด และพบต่ำสุดในสายพันธุ์ Violet Margot เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนของอาร์ติโชกเหลือใช้ (ส่วนของใบและกลีบดอกด้านนอกสุด) จะมีปริมาณอินนูลินต่ำกว่าส่วนที่รับประทานได้ของดอกอาร์ติโชก แต่ถือว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบราคาถูก และมีแนวโน้มในการนำมาผลิตสารอินนูลินได้ โดยอินนูลินจากส่วนของเหลือใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาร์ติโชก เป็นผงสีขาวละเอียด ละลายน้ำได้ปานกลาง ไม่มีรสชาติหวาน หรือกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ ส่วนโครงสร้างของสายยาวมากกว่า 200 โมเลกุล และมีระดับของการพอลิเมอไรเซชันสูงถึง 46 มีค่าสูงกว่าอินนูลินที่สกัดจาก Jerusalem artichoke, Chicory และดอกรักเร่ (Dahlia) โมเลกุลที่ยาวนี้ทำให้มีความสามารถในการละลายได้น้อย เกิดผลึกเมื่อผสมลงในน้ำหรือนม สามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนไขมัน เช่น ผลิตภัณฑ์ Bakery และของหวาน เป็นต้น (López-Molina *et al.,* 2005)



ภาพที่ 2.2 ปริมาณอินนูลิน (ร้อยละของแข็งต่อน้ำหนักแห้ง) ในอาร์ติโชกสายพันธุ์ต่างๆ

ที่มา: Lattanzio *et al.* (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลุ่มของน้ำมัน

องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่พบในอาร์ติโชกทั้งหมด 32 ชนิด ได้แก่ ß-selinene และ Caryophyllene กลิ่นอื่นๆ ที่มีความสำคัญได้แก่ Oct-l-en-3-one, Hex-l-en-3-one, Decanal, Non-trans-2-ena1, Phenylacetaldehyde และ Eugenol (Buttery *et al.,* 1978)

การศึกษาวิจัยเพื่อสกัดน้ำมันจากเมล็ดของอาร์ติโชก (Miceli and De Leo, 1996) พบปริมาณน้ำมันร้อยละ 20 มีส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ซึ่งอาจสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำสบู่ แชมพู ยางสังเคราะห์ และน้ำมันขัดรองเท้า

สารอื่น ๆ

สารในกลุ่มของ Sesquiterpene lactones (Guaianolides) เช่น Dehydro cynaro-picrin, Grosheimin, Cynaratriol และ Cynaropicrin จัดเป็นสารให้ความขมในอาร์ติโชก (Fritsche *et al*., 2002)

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ทั้งในการวินิจฉัยทางการแพทย์ ใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร เครื่องดื่ม เภสัชกรรม ใช้ในการกำจัดสารพิษและสารก่อมะเร็งบางชนิด รวมทั้งการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานที่มีสารประกอบพวกฟีนอล หรืออนุพันธ์ของฟีนอลเป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้น้ำเสีย เมื่อผ่านกระบวนการบำบัดด้วยเอนไซม์มีความปลอดภัยต่อชุมชนหรือสิ่งแวดล้อม ซึ่งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (POD) และพอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่สกัดได้จากดอกของอาร์ติโชกมีประสิทธิภาพในการลดระดับฟีนอล หรืออนุพันธ์ฟีนอลถึง 50 ชนิดในน้ำเสีย (López-Molina *et al.,* 2003)

สารช่วยในการแข็งตัวของชีส ทำการสกัดสารสกัดด้วยวิธีการแช่ (Maceration) แล้วทำให้บริสุทธิ์ สารสกัดที่ได้มีความคงตัวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้นมตกตะกอนคล้ายเรนนิน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารสกัดจากอาร์ติโชกมีกลิ่นรสที่พิเศษ (Nouani *et al.,* 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟีนอลิก

อาร์ติโชกอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก จากรายงานวิจัยของ Häusler *et al.* (2002) วิเคราะห์ในสารสกัดของอาร์ติโชก โดยใช้เทคนิคของโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า อาร์ติโชกมีสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ Mono caffeoylquinic acids และ Di caffeoylquinic acids เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลัก และกลุ่มของ Flavonoids ซึ่งคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระจะสัมพันธ์กับโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก (Gebhardt and Fausel, 1997; Pérez-García *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2003)

จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในดอก น้ำคั้น และกากอาร์ติโชก พบว่า มีสารประกอบฟีนอลิกหลักทั้งหมด 22 ชนิด เป็นสารในกลุ่ม Caffeoyl quinic acids 11 ชนิด และสารในกลุ่ม Flavonoid 8 ชนิด (Schütz *et al.,* 2004) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของส่วนอาร์ติโชกที่รับประทานได้ เมื่อวิเคราะห์ด้วย Folin–ciocalteu method อยู่ในช่วง 31-58 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Lattanzio and Van Sumere, 1987)

ส่วนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาร์ติโชกมีความน่าสนใจ เนื่องจากสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสารสกัด จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก โดยใช้เครื่องโครมาโทรกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า มีสารประกอบฟีนอลิกถึง 45 ชนิด (Sánchez-Rabaneda *et al.,* 2003) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากผักที่เหลือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเศษเหลือใช้ของอาร์ติโชกสูงสุด 100 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด ในขณะที่ผักกาดหอม และผักกะหล่ำดอกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 46 และ 34 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสารสกัด ตามลำดับ (Llorach *et al.,* 2005)

ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ศึกษาในอาร์ติโชกแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย ดังตารางที่ 2.3 เนื่องมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของวัตถุดิบ (ส่วนของดอกทั้งหมด ส่วนนอกของใบประดับ ราก ใบ) ช่วงการเจริญเติบโตของพืช ความแตกต่างของสายพันธุ์ และสภาวะในการเจริญเติบโต เป็นต้น (Curadi *et al.,* 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในแต่ละส่วนของอาร์ติโชกจากงานวิจัย

ส่วนของอาร์ติโชก	สายพันธุ์	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่อน้ำหนักสดหรือแห้ง (mg /g)	งานวิจัย
กลีบเลี้ยง ฐานรองดอกและลำต้น		30 (fresh)	Llorach *et al.,* 2002
ใบ	Green globe	62 (dry)	Wang *et al.,* 2003
ดอกอ่อน	Green globe	14 (dry)	Wang *et al.,* 2003
ดอกที่เจริญเติบโตเต็มที่	Green globe	8 (dry)	Wang *et al.,* 2003
ใบ	Imperial Star	71(dry)	Wang *et al.,* 2003
ดอกอ่อน	Imperial Star	18(dry)	Wang *et al.,* 2003
ดอกที่เจริญเติบโตเต็มที่	Imperial Star	9(dry)	Wang *et al.,* 2003
ดอก	Spinoso sardo	4.8 (fresh)	Alamanni and Cosscu, 2003
ใบ	Violetto	3.7 (fresh)	Romani *et al.,* 2006
ดอก	Violetto	29.8 (fresh)	Romani *et al.,* 2006

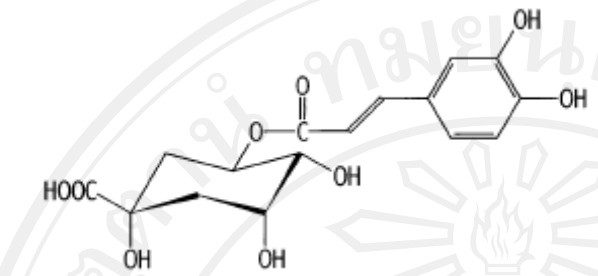
สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของกรดฟีนอลิก ได้แก่ Caffeic acid และกลุ่มของ Mono caffeoylquinic acids และ Di caffeoylquinic acids เช่น Chlorogenic acid สารไซนาริน (1,3-dicaffeoylquinic acid) เป็นต้น โครงสร้างของกรดฟีนอลิกที่พบในอาร์ติโชกดังภาพที่ 2.3

สารกลุ่มนี้มาจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ของ Shikimic acid (Shikimic acid pathway) เริ่มต้นจาก Erythrose-4-phosphate และ Phosphoenol pyruvate โดยผ่านทาง 3-dehydroquinic acid และ 3-dehydro-shikimic acid ซึ่งสารประกอบทั้งสองชนิดจะนำไปสู่กรด Quinic, Gallic และ Protocatechuic จาก Shikimic acid โดยมี Phenylalanine เป็นสารตัวกลาง จะมีการ Determinate และ Hydroxylate ในตำแหน่ง para บน Phenol ring ให้ p-hydroxycinamic acid

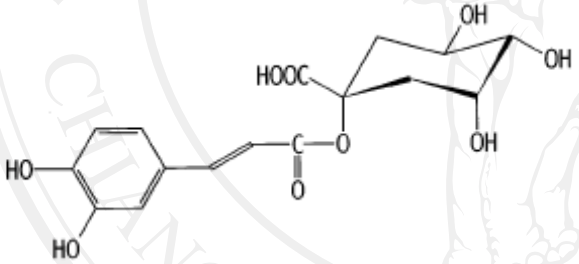
ปัจจัยที่มีผลต่อการชักนำให้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างในสารกลุ่มนี้ เช่น รังสียูวี เชื้อที่ทำให้เกิดโรค เป็นต้น (Moglia *et al*., 2008) หรือเกิดจากสารประกอบฟีนอลิกเปลี่ยนแปลงสังเคราะห์ สลายตัวตลอดเวลา โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟีนอลิก ส่วนใหญ่จะมีการตัด หรือเปิดวงแหวนของโมเลกุลสารประกอบฟีนอลิก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

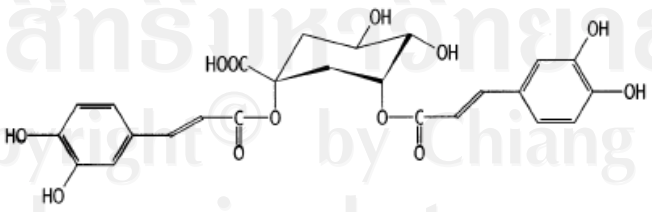
(Ring) นอกจากนี้หลังจากการเก็บเกี่ยวอาจเกิดปฏิกิริยา Polymerization ของโมเลกุลสารประกอบฟีนอลิกได้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น (Schütz *et al.,* 2004)



Chlorogenic acid



1-O-caffeoylquinic acid



1,3-O-dicaffeoylquinic acid

(Cynarin)

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของกรดฟีนอลิกที่พบในอาร์ติโชก

ที่มา: Wang *et al.* (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลงานวิจัย พบว่า ส่วนดอกอาร์ติโชกมีปริมาณ Di caffeoylquinic acids ทั้งหมดอยู่ในช่วง 9,500-25,000 mg/kg ต่อน้ำหนักแห้ง ส่วน Mono caffeoylquinic acids จะมีเพียง 1,500 -3,500 mg/kg ต่อน้ำหนักแห้ง (Romani *et al*., 2006; Schütz *et al*., 2004) ส่วนใบอาร์ติโชกจะมีปริมาณของ Mono caffeoylquinic acids และ Di caffeoylquinic acids อยู่ในช่วงร้อยละ 1-6 ของตัวอย่างแห้ง (Wang *et al*., 2003) โดยมี Chlorogenic acid ซึ่งเป็น Mono caffeoylquinic acids ในปริมาณมากที่สุด สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของ Flavonoids พบในส่วนใบของอาร์ติโชก มีอยู่ร้อยละ 0.53-2.39 (Hammouda *et al.,* 1993)

สารไซนาริน (Cynarin) เป็นสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งจะมี Aromatic ring และอย่างน้อย 1 Hydroxyl group จัดอยู่ในกลุ่มเอสเทอร์ของกรดควินิคและกรดคาเฟอิก มีสูตรโมเลกุล $C_{25}H_{24}O_{12}$ (1,3-dicaffeoylquinic acid) สารนี้เป็นกลุ่มไอโซเมอร์หลักของ 1,5-dicaffeoylquinic acid

จากงานวิจัยพบสารไซนาริน (1,3-dicaffeoylquinic acid) เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักในน้ำคั้นจากดอกอาร์ติโชก (Schütz *et al.,* 2004)

สารไซนารินเป็นสารที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของ HIV Integrase (Slanina *et al*., 2001) มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ Wang *et al*. (2003) ได้ทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยสาร DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) พบสารไซนารินมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสาร Luteolin-7-O-glucoside และ Luteolin-7-O-rutinoside เนื่องจากโครงสร้างของสารไซนารินมีหมู่ไฮดรอกซิล 2 กลุ่ม ที่อยู่กับวงแหวนอะโรมาติกใกล้กัน ในขณะที่สาร Luteolin-7-O-glucoside และ Luteolin-7-O-rutinoside มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียง 1 กลุ่ม อยู่กับวงแหวนอะโรมาติก

Clifford (1999) ได้วิเคราะห์ส่วนของดอกอาร์ติโชกพบว่ามี Chlorogenic acid, 1,5-dicaffeoylquinic acids และ 3,5-dicaffeoylquinic acids เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลัก ซึ่งสาร 1,5- dicaffeoylquinic acids มีปริมาณลดลง หลังจากเก็บรักษาดอกอาร์ติโชกที่อุณหภูมิ 2, 5, 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน และสาร 1,5-dicaffeoylquinic acids จะมีความคงตัวต่ำในสารละลายน้ำสามารถเปลี่ยนไปเป็น 1,3-di-caffeoylquinic acids (Cynarin) ได้

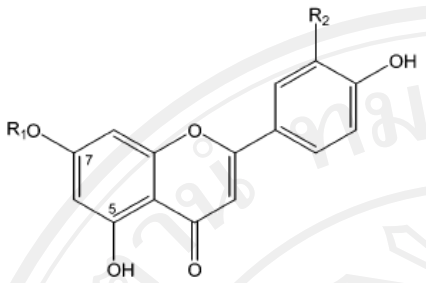
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Schütz *et al*. (2004) ได้วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในเครื่องดื่มจากดอกอาร์ติโชก และทดลองสกัดสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างดอกอาร์ติโชกสด ส่วนกากที่เหลือจากกระบวนการทำเครื่องดื่มจากดอกอาร์ติโชก พบว่าในเครื่องดื่มจากดอกอาร์ติโชกมีปริมาณสารไซนาริน (1,3-dicaffeoylquinic acids) สูงสุดคือ 529.5 mg/l ซึ่งสารไซนารินที่สูงขึ้นนั้นอาจเกิดจากกระบวนการไอโซเมอไรเซชันของ Mono และ Di caffeoylquinic acids ระหว่างการลวกและพาสเจอไรซ์ ในขณะที่ส่วนกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตเครื่องดื่มจากดอกอาร์ติโชก และตัวอย่างดอกอาร์ติโชกสดมีปริมาณไซนารินเท่ากับ 366.1 และ 172.9 mg/kg น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยในตัวอย่างดอกอาร์ติโชกสดไม่พบ Caffeic acid เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไปเป็นสาร Mono และ Dicaffeoylquinic acids ในระหว่างกระบวนการผลิต ส่วนสาร Naringenin-7-O-glucoside พบในกากของอาร์ติโชกเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่า กากของอาร์ติโชกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่ากากอื่น เช่น กากของแอปเปิล

สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ เป็นพวกฟลาโวนกลัยโคไซด์ (Flavone glycosides) ในอาร์ติโชกจะพบสารในกลุ่มนี้ประมาณร้อยละ 0.1-1.0 ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ที่พบในอาร์ติโชก ได้แก่ Luteolin-7-O-ß-D-glucopyranoside (Luteolin-7-O-glucoside=Cynaroside), Luteolin-7-O-rutinoside=Scolymoside โดยส่วนของใบอาร์ติโชกจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มฟลาโวนอยด์สูง (Romani *et al.,* 2006) โครงสร้างของฟลาโวนอยด์ที่พบในอาร์ติโชกดังภาพที่ 2.4

แทนนิน และแอนโทไซยานินที่พบหลักๆ ในดอกอาร์ติโชก ได้แก่ Cyanidin 3,5-di glucoside, Cyaniding 3-glucoside, Cyanidin 3,5-malonyldiglucoside, Cyanidin 3-(3''-malonyl) Glucoside และ Cyanidin 3-(6"-malonyl) glucoside โดยปริมาณแอนโทไซยานินรวมของดอกอาร์ติโชกสายพันธุ์ "Camus", "Green Globe", "Le Castel" และ "Petit Violet" อยู่ในช่วง 8.4 - 1,705.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Schütz *et al.*, 2006b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

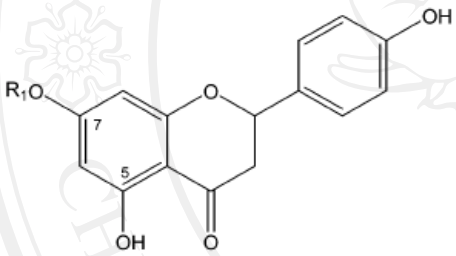


Luteolin 7-O-rutinoside R_1=Rut R_2=OH

Luteolin 7-O-glucoside R_1=glc R_2=OH

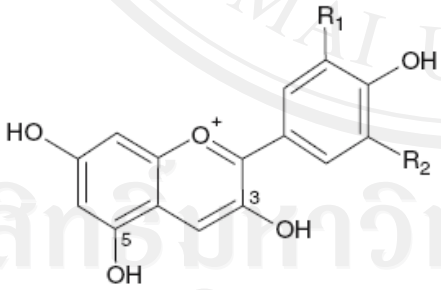
Apigenin 7-O-rutinoside R_1=Rut R_2=H

Apigenin 7-O-glucoside R_1=glc R_2=H



Narirutin R_1=Rut

Naringenin R_1=glc



Cyanidin R_1=OH R_2=H

Peonidin R_1=OCH_3 R_2=H

Delpenidin R_1=OH R_2=OH

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์ที่พบในอาร์ติโชก

ที่มา: Schütz *et al.* (2004), Schütz *et al.* (2006b)

การใช้ประโยชน์จากพืชอาร์ติโชก

ชาวกรีกและโรมันสมัยโบราณใช้ประโยชน์จากอาร์ติโชกเป็นพืชผัก ระหว่างศตวรรษที่ 20 อาร์ติโชกเริ่มมีความสำคัญในการนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพร โดยมีการค้นพบสารไซนารินในใบ ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยบำรุงตับ ถุงน้ำดี รวมถึงลดระดับปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด การปลูกพืชอาร์ติโชก นอกจากเพื่อการบริโภคและใช้ผลิตอาหารเพื่อสุขภาพแล้ว มีการปลูกเป็นไม้ประดับตกแต่งสวนให้สวยงาม โดยทุกส่วนของอาร์ติโชกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย ดังนี้ (Miceli and De Leo, 1996; Nouani *et al.,* 2009; Schütz *et al.,* 2004)

1. ส่วนที่รับประทานได้ของอาร์ติโชก คือ ส่วนดอก นำไปประกอบอาหาร และยังจัดเป็นแหล่งธรรมชาติของ Food flavoring ใช้เป็นส่วนประกอบที่ให้กลิ่นรสในเครื่องดื่มสุราที่ได้จากการกลั่นอย่าง Cynar ในประเทศอิตาลี นิยมนำมาทำสารสกัดในรูปของสารละลายแอลกอฮอล์ผงอัดเม็ด ในส่วนเมล็ดของอาร์ติโชกสามารถนำมาสกัดน้ำมัน มีปริมาณกรดไขมันประเภท Oleic และ Linoleic acid ต่ำ หลังจากการสกัดน้ำมันออกส่วนที่เหลือใช้เป็นอาหารสัตว์ เชื้อเพลิง อุตสาหกรรมการผลิต กากใยและสารอินนูลิน สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ

2. ส่วนใบอาร์ติโชกมีสรรพคุณทางยา ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสารสกัด เป็นส่วนผสมในครีมบำรุงผิว ใช้ในการตกตะกอนนมเพื่อทำชีส เช่น Algerian และ “Djben”

3. ส่วนของรากอาร์ติโชกนำมาอบแห้งเพื่อทำชา เป็นที่นิยมในประเทศจีน เวียดนาม

ข้อมูลคุณสมบัติสารสกัดจากอาร์ติโชก

1. คุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity)

จากการวิจัย Zhu *et al.* (2004) พบ สารสกัดจากใบอาร์ติโชกใน n-Butanol สามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย 7 ชนิด ยีสต์ 4 ชนิด และรา 4 ชนิด วิเคราะห์สารแต่ละชนิดในสารสกัดพบว่า แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Caffeoylquinic acid 4 ชนิด ได้แก่ Chlorogenic acid, Cynarin, 3,5-di-O-caffeoylquinic acid และ 4,5-di-O-caffeoylquinic acid ฟลาโวนอยด์ 4 ชนิด ได้แก่ Luteolin-7-rutinoside, Cynaroside, Apigenin-7-rutinoside และ Apigenin-7-O-ß-D-glucopyranoside โดย Chlorogenic acid, Cynarin, Luteolin-7-rutinoside และ Cynaroside มีความสามารถสูงในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ มีระดับความเข้มข้นของสารที่ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้อยู่ระหว่าง 50-200 µg/ml

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการทำลายตับ
(Antioxidant and hepatoprotective activity)

Jiménez-Escrig *et al.* (2003) พบว่า สารสกัดอาร์ติโชกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีวิเคราะห์คือ Free Radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl Scavenging Assay (DPPH), Ferric-reducing antioxidant power Assay (FRAP) และ Copper-Induced Oxidation of Human LDL Assay นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาพบคุณสมบัติการต้าน Oxidative stress ของสารสกัดอาร์ติโชกในเซลล์เม็ดเลือดขาวของคน (Pérez-García *et al.,* 2000)

งานวิจัยหลายงานได้ศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดจากอาร์ติโชก ต่อการป้องกันความเสียหายของเซลล์ตับจากสารพิษต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นการทดสอบในสภาวะจำลองกับสัตว์ (Barnes *et al*., 2007) การศึกษาผลของสารสกัดอาร์ติโชกความเข้มข้นที่ 0.001 mg/ml เทียบกับกลุ่มควบคุมในเซลล์ตับของหนู พบว่า สามารถยับยั้งโครงสร้าง Malondialdehyde ที่ชักนำโดย tert-Btylhydroperoxide (t-BHP) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเสื่อมสภาพโมเลกุลของโปรตีนและกรดนิวคลีอิกภายในเซลล์ตับ (Gebhardt and Fausel, 1997)

3. คุณสมบัติในการลดไขมัน คอเลสเตอรอล และช่วยในการขับน้ำดี
(Hypolipidaemic, Hypocholesterolaemic and Choleretic activity)

สารสกัดอาร์ติโชกสามารถทั้งลด และกำจัดคอเลสเตอรอล รวมถึงลดการสร้างคอเลสเตอรอล จากการศึกษาสารสกัดอาร์ติโชกในเซลล์ตับหนูปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่า 0.1 mg/ml สามารถยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลได้ร้อยละ 20 ในขณะที่สารสกัดเข้มข้น 1 mg/ml สามารถยับยั้งการสร้างได้ถึงร้อยละ 65 โดยสารสำคัญที่มีผลต่อการศึกษานี้คือ ลูทีโอลิน (Gebhardt, 2001) และมีรายงานการยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลโดยใช้สารสกัดอาร์ติโชกเข้มข้น 0.03-0.1 mg /ml ในเซลล์ตับหนูและคน (in vitro) (Barnes *et al*., 2007)

ผลของสารไซนารินต่อปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่มและตับของหนู พบว่าหนูที่ได้รับเอทานอลเพียงอย่างเดียว (ปริมาณ 6 กรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน นำสารผ่านทางหลอดมากกว่าสามวัน) ปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่มสูงต่างจากกลุ่มควบคุมร้อยละ 44 ($p<0.01$) ส่วนการใช้ไซนาริน (30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แสดงผลลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมดในซีรั่มต่างจากกลุ่มควบคุม ($p<0.05$) (Barnes *et al*., 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการศึกษาผู้ทดสอบที่ใช้สารสกัดอาร์ติโชก (Hepar-SL forte: 1 แคปซูลประกอบด้วย 320 มิลลิกรัม มีอัตราส่วนระหว่างสารสกัด 3.5 ถึง 5.5 ต่อ 1) ปริมาณ 6 แคปซูลต่อวันนาน 6 สัปดาห์ พบว่ามีผลลดระดับคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่มและความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ เมื่อเทียบจากค่าพื้นฐาน ส่วนคุณสมบัติที่ช่วยในการขับน้ำดี ในการทดลองใช้สารสกัดอาร์ติโชก (1.92 กรัม ต่อน้ำ 300 มิลลิลิตร) กับผู้ทดสอบเพศชาย 20 คน พบว่า ช่วยในการขับน้ำดีแตกต่างจากกลุ่มควบคุม (Kircchoff *et al*., 1994)

ปริมาณการใช้อาร์ติโชก

สำหรับอาหาร The Council of Europe จัดให้อาร์ติโชกเป็น Food flavoring (Category N2) สามารถใส่ในอาหารปริมาณเล็กน้อย และไม่มีการกำหนดปริมาณอย่างชัดเจนของสารสำคัญในผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยมีข้อมูลการใช้สารสกัดอาร์ติโชกปริมาณสูงสุด 16 ppm (ร้อยละ 0.0016) ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนปริมาณการใช้เป็นสมุนไพรในการบำรุงรักษาร่างกาย The German commission E กำหนดค่าเฉลี่ยปริมาณการบริโภค 6 กรัมของยาหรือปริมาณของสารสกัด (อัตราส่วนระหว่างสมุนไพรต่อสารสกัด) หรือการเตรียมในรูปแบบอื่นกำหนดปริมาณการบริโภคสารสกัดรูปแบบของเหลว (อัตราส่วน 1:2) 3-8 มิลลิลิตร (Barnes *et al*., 2007)

ความปลอดภัยของสารสกัด

จากการศึกษาในกลุ่มคนไข้ที่มีภาวะผิดปกติของระดับไขมันในเลือด ด้วยสารสกัดจากอาร์ติโชก และยาที่มีผลทางด้านจิตใจแต่ไม่มีผลต่อการรักษา มีรายงานการเกิดอาการไม่พึงประสงค์ทั้งหมด 28 คน จากกลุ่มคนไข้ที่ทดสอบ 143 คน (Englisch *et al*., 2000) จากการติดตามผลการเฝ้าระวังยาหลังวางตลาด (Post marketing surveillance) กับผู้ทดสอบ 533 คนที่ได้รับสารสกัดอาร์ติโชก (Hepar-SL forte) ปริมาณการบริโภค 1.92 กรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ เกิดอาการไม่พึงประสงค์ที่ไม่มีอันตรายมากคิดเป็นร้อยละ 1.3 ของผู้ทดสอบ และการทดสอบครั้งที่สองกับผู้ทดสอบที่มีอาการปวดแน่นท้อง 203 คน ได้รับสารสกัดอาร์ติโชก 1.92 กรัมต่อวันนาน 6 เดือน ปรากฏว่า ไม่มีรายงานการเกิดอาการไม่พึงประสงค์ (Barnes *et al*., 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดอาการแพ้ ผิวหนังอักเสบจากอาร์ติโชก พบว่า มีรายงานอาการแพ้ในผู้หญิงอายุ 20 ปี โดยเกิดอาการแพ้ทางผิวหนังเนื่องจากการสัมผัสกับสารเคมีหรือโปรตีนจากพืช เป็นผื่น มีอาการบวมของมือ หน้า มีอาการเกี่ยวกับการหายใจ ภายหลังจากไปเก็บอาร์ติโชก (Quirce *et al*., 1996)

จากการทดลองเพื่อหาความเป็นพิษของสารสกัดอาร์ติโชก พบว่า สารสกัดอาร์ติโชกบริสุทธิ์มีค่า LD_{50} เท่ากับ 265 mg/kg (ทดลองในหนู โดยวิธี Intraperitoneal injection) ต่ำกว่าสารสกัดอาร์ติโชกหยาบมีค่า LD_{50} เท่ากับ 1000 mg/kg ซึ่งค่า LD_{50} แสดงถึงปริมาณของสารที่สามารถฆ่าประชากรของหนูทดลองได้ถึงร้อยละ 50 เป็นค่าตัวแทนของความเป็นพิษ สารที่มีค่า LD_{50} ต่ำจะเป็นสารที่มีพิษร้ายแรงกว่าสารที่มีค่า LD_{50} สูง ดังนั้นสารสกัดอาร์ติโชกที่ทำให้บริสุทธิ์จึงมีพิษมากกว่าสารสกัดอาร์ติโชกหยาบ (Barnes *et al*., 2007)

กระบวนการสกัดในอุตสาหกรรม

การสกัด (Extraction) เป็นการแยกองค์ประกอบทางเคมีออกจากกากของพืช หรือองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ โดยการสกัดแบบ Solid-liquid extraction อาศัยหลักการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติการมีขั้วเหมือนกัน

ขั้นตอนในการสกัดจะเริ่มตั้งแต่ การเตรียมวัตถุดิบ ชนิดของตัวทำละลาย การเลือกวิธีการสกัด ขั้นตอนการสกัด การกรอง การทำให้บริสุทธิ์กรณีที่ต้องการสารที่มีความจำเพาะ

อาร์ติโชกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง จึงเป็นที่สนใจศึกษาในงานวิจัยเพื่อสกัดเชิงอุตสาหกรรม (Llorach *et al*., 2002; Mabeau *et al*., 2007) Mabeau *et al*. (2007) กล่าวถึงกระบวนการสกัดอาร์ติโชก ซึ่งอาจส่งผลต่อเค้าโครงของสารประกอบฟีนอลิกจึงควรคำนึงถึงชนิดของวัตถุดิบ รวมถึงการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการสกัดสารและชนิดของตัวทำละลาย เพื่อให้ได้กระบวนการสกัดสารสกัดที่เหมาะสมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบเริ่มต้นในการสกัดมีผลต่อคุณภาพสารสกัด ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของอาร์ติโชก และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวอาร์ติโชกที่ใช้เป็นวัตถุดิบ (Ferracane *et al.,* 2008) หลายงานวิจัยกล่าวถึง ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด รวมถึงปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกจะมีค่าแตกต่างกัน ในแต่ละส่วนของพืชและสายพันธุ์ของอาร์ติโชก (Fratianni *et al*., 2007; Romani *et al*., 2006; Wang *et al*., 2003)

Fratianni *et al*. (2007) ทดลองสกัดส่วนดอก (ส่วนรับประทานได้) ของอาร์ติโชก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Bianco di Pertosa, Carciofo di Aquara, Tondo di Paestum, C3, Violet de Provence และ Cardoon พบว่า ส่วนดอกอาร์ติโชกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าส่วนใบ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ ส่วน Wang *et al*. (2003) ได้ทดลองสกัดอาร์ติโชกสามสายพันธุ์ ได้แก่ Green globe, Imperial Star และ Violet วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในส่วนใบมีค่าสูงสุดและในส่วนดอกที่เจริญเต็มที่มีค่าต่ำสุด โดยอาร์ติโชกที่ทำการศึกษามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 1.7-9.6 ของน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารไซนารินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.242-1.617 ของน้ำหนักแห้ง

นอกจากนี้การเตรียมวัตถุดิบในการสกัด เช่น การอบแห้ง ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อองค์ประกอบสารเคมีในพืช สารบางชนิดอาจสลายตัว หรือเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นๆ ได้

Wang *et al*. (2003) พบว่า วิธีการเตรียมวัตถุดิบอาร์ติโชกก่อนการสกัด ระหว่างการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อนำตัวอย่างทั้งสองมาทำการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 60 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบสารสกัดที่ได้มีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกัน

การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปมีผลต่อการสูญเสียสารประกอบฟีนอลิก หรืออาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น จากการศึกษาปริมาณ Caffeoylquinic acids ทั้งหมดในอาร์ติโชกที่ผ่านการต้ม นึ่งด้วยไอน้ำ และทอด พบว่า ปริมาณของ Caffeoylquinic acids ทั้งหมดเพิ่มถึงร้อยละ 66, 94 และ 71 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับตัวอย่างอาร์ติโชกสด (Ferracane *et al.,* 2008) ดังนั้นการศึกษาช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดจึงมีความสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดขนาดของวัตถุดิบช่วยให้วัตถุดิบสัมผัสกับตัวทำละลายเหมาะสม องค์ประกอบสารสำคัญจึงละลายออกมา การสกัดสารสำคัญจะสมบูรณ์ถ้าเซลล์ตัวอย่างมีการแตกตัวแล้วตัวทำละลายสัมผัสองค์ประกอบสารสำคัญมากที่สุด ดังนั้นควรมีการบดตัวอย่างให้ละเอียดก่อนทำการสกัด เพื่อทำลายผนังเซลล์และเพิ่มพื้นที่ของตัวอย่างที่จะสัมผัสกับตัวทำละลาย หากบดขนาดของวัตถุดิบเล็กมากเกินไป อาจเกิดปัญหาอุดตันเครื่องกรองที่ใช้ในกระบวนการสกัดภาคอุตสาหกรรมได้ และได้องค์ประกอบที่ไม่ต้องการมากขึ้น เนื่องมาจากเซลล์แตกมากเกินไป รวมถึงอาจทำให้สารสกัดที่ได้มีลักษณะขุ่นคล้ายคอลลอยด์

การเลือกตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

การเลือกตัวทำละลาย ควรพิจารณาความสามารถในการละลายสารสำคัญที่ต้องการได้มากที่สุด โดยไม่ละลายองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการหรือละลายน้อยที่สุด หาง่าย ราคาถูก ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย มีความคงตัวดี ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบที่สำคัญ ไม่ระเหยหรือติดไฟง่าย ตัวทำละลายที่นิยมใช้สกัดในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น น้ำ จัดเป็นตัวทำละลายที่ดี ราคาถูกมีความปลอดภัย แต่สารสกัดที่ได้ไม่สามารถเก็บได้นาน อาจเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ แอลกอฮอล์สามารถนำมาใช้ในการสกัดได้อย่างปลอดภัย แต่ต้นทุนของเอทานอลจะแพงกว่าน้ำ การใช้ส่วนผสมของน้ำและเอทานอลจะช่วยลดต้นทุนในการใช้เอทานอล ซึ่งตัวทำละลายที่ได้มีคุณสมบัติป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ ราคาถูก เป็นต้น

Wang *et al*. (2003) ได้ศึกษาผลความเข้มข้นของตัวทำละลายเมทานอลร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ในการสกัดอาร์ติโชกที่อุณหภูมิห้องและใช้เทคนิคคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำช่วยในการสกัด พบว่า สารละลายเมทานอลร้อยละ 60 ทำให้ได้สารสกัดจากอาร์ติโชกที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด นอกจากนี้มีการใช้ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นที่ร้อยละ 70 ในการสกัดสารสกัดอาร์ติโชกก่อนทำการวิเคราะห์ (Coinu *et al*., 2007; Romani *et al*., 2006; Orlovskaya *et al*., 2007)

Llorach *et al*. (2002) ได้แสดงให้เห็นถึง น้ำและสารละลายเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากอาร์ติโชก เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดอาร์ติโชกที่ใช้น้ำกับเมทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัด พบว่า สารสกัดที่ใช้น้ำมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดอาร์ติโชกที่ใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งการใช้น้ำในการสกัดมีความปลอดภัย และราคาถูกกว่าการใช้เมทานอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Romani *et al.* (2006) กล่าวว่า วิธีการที่ง่ายในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในดอกอาร์ติโชกด้วยน้ำร้อน จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การเลือกวิธีการสกัด

การเลือกวิธีการสกัดที่เหมาะสม ควรพิจารณาถึงความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการในตัวทำละลาย ความคงตัวต่อความร้อนขององค์ประกอบสารเคมีที่ต้องการ หากต้องการสารสกัดเข้มข้นควรใช้วิธีการสกัดแบบต่อเนื่อง หากต้องการสารสกัดที่มีคุณค่าในการรักษาสูงหรือมีมูลค่าสูง ควรเลือกใช้วิธีสกัดที่มีประสิทธิภาพสูง หากสารสกัดนั้นไม่ใช่ตัวยาที่สำคัญ ไม่จำเป็นที่จะใช้วิธีที่ยุ่งยาก ในส่วนของความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ควรเลือกใช้วิธีการสกัดที่ง่ายเมื่อผู้ปฏิบัติงานไม่มีความชำนาญเพียงพอ

การสกัดสารสกัดด้วยตัวทำละลาย การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นเทคนิคแยกสารบางชนิดออกจากสารผสม อาจอยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลว อย่างเช่น สารจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ สารที่สังเคราะห์ขึ้น ด้วยตัวทำละลาย (Solvent) เป็นต้น โดยอาศัยคุณสมบัติของการละลายสารที่แตกต่างกันในตัวทำละลาย วิธีการสกัดที่ใช้เทคนิคนี้ ได้แก่

- Maceration การสกัดสารสำคัญของพืชโดยการหมักในตัวทำละลาย จนตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปละลายสารสำคัญในพืชอบแห้งบดละเอียด

- Percolation การสกัดสารสำคัญของพืชโดยปล่อยให้ตัวทำละลายไหลผ่านตัวอย่างพืชอบแห้งบดละเอียดอย่างช้าๆ พร้อมกับละลายสารสำคัญออกมา

- Infusion การสกัดโดยเทน้ำเดือดลงไปในตัวอย่างพืช ทำการแช่ทิ้งไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ก่อนทำการกรองตัวอย่างออก เช่น การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในพืชสมุนไพรแห้งและชา ที่แช่สกัดในน้ำร้อน นาน 3 นาที (Atoui *et al.,* 2005)

- การสกัดด้วยน้ำมันที่เย็น หรือร้อน

การสกัดด้วยตัวทำละลายแบบขั้นตอนเดียว เป็นการผสมตัวอย่างเข้ากับตัวทำละลายนำไปเขย่าด้วยความเร็วสูง เพื่อช่วยในการสกัดสารสำคัญของพืชให้ละลายอยู่ในตัวทำละลาย วิธีนี้ใช้ตัวอย่างน้อย มีขั้นตอนง่าย รวดเร็ว และลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนวิธีการสกัดที่นิยมใช้ในงานวิจัยเป็นการสกัดแบบ Solid-liquid extraction วิธีนี้ใช้ตัวทำละลายในการสกัดสารสกัด (Llorach *et al*., 2002; Mabeau *et al*., 2007) โดยตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดอาร์ติโชก ได้แก่ เอทานอล เมทานอล น้ำ เป็นต้น

ในส่วนของการสกัดสารสกัดอาร์ติโชกโดยแยกสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิด (สารบริสุทธิ์) ทำได้ยุ่งยาก และยากต่อการบริโภค อีกทั้งผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบดีกว่าสารประกอบฟีนอลิกแต่ละตัว เมื่อแยกออกจากสารสกัดหยาบ (Curadi *et al*., 2005; Pérez-García *et al*., 2000)

การทำสารสกัดเข้มข้น

การทำให้สารสกัดเข้มข้นหรือสารละลาย ซึ่งประกอบไปด้วยตัวถูกละลาย (Solute) ในตัวทำละลาย (Solvent) อาศัยกระบวนการระเหย (Evaporation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ทำได้โดยการให้ความร้อนกับสารละลายที่ต้องการ ตัวทำละลายจึงระเหยออกไป ทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารเป็นการเพิ่มสัดส่วนของแข็งในอาหาร เป็นการคงสภาพอาหาร เป็นการระเหยทำให้อาหารเข้มข้นก่อนนำไปสู่กระบวนการผลิตอื่นๆ เช่น การแช่เยือกแข็ง การฆ่าเชื้อ เป็นต้น

ข้อดีของการระเหย เป็นการประหยัดพลังงานในแง่ของการเก็บ การขนส่ง และการกระจายสินค้า ทำให้ผู้บริโภคสะดวกขึ้น ข้อเสียของการระเหยต้องใช้พลังงานมากกว่าวิธีทำให้เข้มข้นโดยวิธีอื่น เช่น Freeze concentration และ Ultrafiltration เป็นต้น แต่สามารถทำให้อาหารเข้มข้นได้สูงกว่าวิธีอื่น (ดังตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบสมมูลไอน้ำและความเข้มข้นสูงสุดของแต่ละวิธีการทำให้เข้มข้น

วิธีการทำให้เข้มข้น	สมมูลไอน้ำ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ทำได้ (ร้อยละ)
Ultrafiltration	0.001	28
Reverse osmosis	0.028	30
Freeze concentration	0.090-0.386	40
Evaporation		
Triple effect without aroma recovery	0.370	80
Triple effect with aroma recovery	0.510	80

ที่มา: Fellows (2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกแบบและวัสดุที่ใช้ในการผลิตเครื่องมือในการระเหยมีความสำคัญ ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของของเหลวที่นำมาระเหย ได้แก่ ความเข้มข้น สภาพการไวต่ออุณหภูมิ การเกิดฟอง ตะกรัน รูปแบบของการระเหยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

การปฏิบัติการผลเชิงเดี่ยว (Single effect operation) ในเครื่องระเหยผลเชิงเดี่ยว (Single effect evaporator) ไอจากของเหลวที่กำลังเดือดควบแน่นแล้วถูกทิ้งไป วิธีนี้เรียกว่า เครื่องระเหยผลเชิงเดี่ยว แม้ว่าจะเป็นวิธีที่ง่าย แต่เป็นการใช้ไอน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ

การปฏิบัติการผลหลายเชิง (Multiple effect operation) หากมีการนำเครื่องระเหยมาเรียงต่ออนุกรมกันระหว่างแหล่งจ่ายไอน้ำ และเครื่องควบแน่น เรียกว่า การระเหยผลหลายเชิง (Multiple effect evaporation) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหย

โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมเครื่องระเหยจะได้รับความร้อนจากไอ และกลั่นตัวบนท่อเหล็ก ตัวอย่างเครื่องเช่น เครื่องระเหยท่อสั้นแนวตั้ง เครื่องระเหยชนิดใช้แรงทำให้เกิดการไหลเวียน และ Turbulent-film evaporator เป็นต้น

เครื่องระเหยภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เหมาะกับสารที่ไวต่ออุณหภูมิ เช่น ผลิตภัณฑ์เภสัชกรรมอาหาร เป็นต้น เมื่อได้รับความร้อนปานกลางหรือสูง ในระยะเวลาสั้นอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและคุณสมบัติของสารที่ต้องการระเหยให้เข้มข้น การใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศระหว่างการระเหย ช่วยให้ตัวทำละลายเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ และลดระยะเวลาในการระเหยได้ (เฉลิมเกียรติ, 2551)

สารสกัดอาร์ติโชกเป็นที่สนใจในการนำมาแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพในรูปของผง นำมาอัดเป็นเม็ด แคปซูล เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจากอาร์ติโชก พบว่า มีสารประกอบในกลุ่มของ Mono caffeoyluinic acids เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือกลุ่มของ Di caffeoyluinic acids และ Flavonoids ตามลำดับ (Schütz *et al.,* 2006a)

การแปรรูปสารสกัดด้วยกระบวนการทำแห้ง สำหรับสารสกัดอาร์ติโชกส่วนใหญ่ใช้วิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Romani *et al*., 2006; Llorach *et al*., 2002) นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและใช้เป็นส่วนผสมในซุปไก่ (Llorach *et al*., 2005) เมื่อทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสกับซุปไก่ที่มีการเติมสารสกัดจากอาร์ติโชก พบว่า ปริมาณสูงสุดที่ใช้ผสมได้คือ 10 มิลลิกรัมของสารสกัดต่อมิลลิลิตรของซุปไก่ โดยผู้ทดสอบยังคงให้การยอมรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟิล์มละลายเร็ว (Fast dissolving film)

ฟิล์มละลายเร็วเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแผ่นบาง จัดเป็นฟิล์มรับประทานได้ (Edible film) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการบริโภคมากกว่าการใช้กับอาหารด้วยวิธีต่างๆ เช่น ห่อหุ้มอาหาร จุ่ม ทา และพ่นฝอยลงบนพื้นผิวของอาหารเพื่อป้องกันออกซิเจน

ในทางเภสัชกรรม ใช้เป็นตัวนำส่งยาที่สำคัญให้ผู้ป่วย โดยอาศัยหลักการของการนำส่งยาละลายเฉียบพลัน ที่ไม่ต้องการน้ำ หรือการเคี้ยว ตัวยาสำคัญจะถูกกลืนเข้าไปพร้อมกับน้ำลายและสารอื่นในตำรับยา ซึ่งระบบการนำส่งยาละลายเฉียบพลันถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกที่ Wyeth Laboratories ในสหราชอาณาจักร ในปี ค.ศ. 1970 และได้มีการจดสิทธิบัตรระบบการนำส่งยา “Zydis” แรกๆ ของการนำส่งยาละลายเฉียบพลันจะอยู่ในรูปแบบของเม็ด โดยความรวดเร็วในการละลายขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและส่วนผสมที่ทำการพัฒนา วัตถุประสงค์เพื่อให้ง่ายต่อการนำส่งยาสำหรับผู้ป่วย จึงมีการออกแบบในลักษณะของฟิล์มละลายเร็ว

สำหรับการพัฒนาแผ่นฟิล์มละลายเร็วในผลิตภัณฑ์เพื่อความสวยงาม เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ฟันขาว ดับกลิ่นปาก เป็นต้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะมีขนาดกะทัดรัด พกพาได้สะดวก เพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้บริโภคได้ทุกสถานการณ์ แทนการใช้แปรงสีฟัน ยาสีฟัน หรือน้ำยาบ้วนปาก

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้เทคนิคของฟิล์มละลายเร็วในผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์ม มีส่วนผสมของกลิ่นรส (Flavors) โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สารก่อให้เกิดฟิล์ม อย่าง Pullulan กลิ่นรสพวกสมุนไพร เครื่องเทศ เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส ซึ่งอาจอยู่ในรูปของซอสหรือกลิ่นรสเข้มข้น และ Plasticizers ส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ สารที่ช่วยในการขึ้นรูปฟิล์ม และสารช่วยในการปลดปล่อยกลิ่นรส เช่น Polyoxyethylene, Sorbitan monooleate และ Sodium lauryl sulfate เป็นต้น รวมถึงมีการใช้เกลือปริมาณร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักแห้งในส่วนผสม ซึ่งเกลือสามารถช่วยเพิ่มอัตราการละลายและการสลายตัวของฟิล์มได้ การใช้ประโยชน์จากฟิล์มชนิดนี้คือ ใช้ห่อหุ้มอาหารก่อนนำมาประกอบอาหารด้วยวิธีต่างๆ หรือใช้ละลายน้ำเพื่อทำเป็นเครื่องดื่ม เช่น ฟิล์มกลิ่นรสมะนาว เป็นต้น (Carter *et al.,* 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของฟิล์มละลายเร็ว

ลักษณะของฟิล์มละลายเร็ว ขนาดพื้นที่ของแผ่นฟิล์มประมาณ 2-8 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 20-70 ไมโครเมตร ความสามารถการละลายของฟิล์มภายในเวลาหนึ่งนาที ส่วนประกอบของฟิล์ม ส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการละลาย และเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว ละลายเข้ากับน้ำได้ แผ่นฟิล์มควรมีลักษณะเป็นแผ่นบางและมีความยืดหยุ่น คงตัวต่อความชื้น ไม่เหนียวติดบรรจุภัณฑ์หรือมือ เมื่อวางบนลิ้นสามารถละลายได้อย่างเฉียบพลัน

ตารางที่ 2.5 ลักษณะพิเศษและข้อดีของแผ่นฟิล์มละลายเร็ว

ลักษณะพิเศษ	ข้อดี
ฟิล์มมีลักษณะบางและสวยงาม	ไม่มีความเสี่ยงต่อการติดคอ
มีขนาดและรูปร่างหลายแบบ	กลบรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ของสารหรือตัวยาที่สำคัญ
แตกตัวและละลายได้เร็ว	
ปลดปล่อยตัวอย่างสารที่สำคัญอย่างรวดเร็ว	

ที่มา: ภูริวัฒน์ (2550)

ตัวอย่างของฟิล์มละลายเร็วที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาด ส่วนใหญ่จะเป็นเภสัชภัณฑ์ เช่น Oral Film Pain Relieving Strip ผู้ผลิตคือ Apothecus Pharmaceutical crop, Eclipse Flash Strips ผู้ผลิตคือ Wrigley's, Cool Mint/Fresh Burst Listerine Pocket Packs ผู้ผลิตคือ Pfizer ผลิตภัณฑ์ที่มีวางจำหน่ายในประเทศไทย BSC Ice Shock Strips โดยมีผู้นำเข้าและจำหน่ายคือ Sahapathanapibul Public Company Limited เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีการเติมสารที่มีประโยชน์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลาย เพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค เริ่มแรกแผ่นฟิล์มละลายเร็วใส่สารพวกที่ช่วยบรรเทาอาการคัดจมูก ไอ อาทิ Dextrometrophan Phenylephrine เป็นต้น เพื่อให้ลมหายใจสดชื่น ต่อมามีส่วนผสมอื่นอย่างเช่น วิตามิน คาเฟอีน เมนทอล เป็นต้น (Garsuch, 2009)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะและคุณสมบัติของฟิล์มละลายเร็ว ได้แก่ ชนิดและปริมาณของส่วนผสม การจัดการ ลำดับขั้นตอน วิธีการผลิต (การผสม ให้ความร้อน การทำให้เย็น การอบแห้ง ลำดับการผสมส่วนผสม) และตัวแปรในกระบวนการผลิต (อุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรด ด่าง ระยะเวลาการผลิต)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลไกลการละลายของฟิล์มภายในปาก

การละลายของฟิล์มเกิดขึ้นภายในปาก เกี่ยวข้องกับอวัยวะภายในปาก ซึ่งทำให้เกิดกลไกลการนำสารอาหารหรือยาเข้าสู่ร่างกายทางผนังในช่องปาก (Oral mucosa delivery) เป็นวิธีการส่งผ่านอาหาร หรือยาที่ได้ผลดี โดยการดูดซึมผ่านผนังลิ้นและเพดานปาก (Sublingual delivery) กระพุ้งแก้ม (Buccal delivery) รวมถึงผนังอื่นๆ ในช่องปาก (Local delivery) และ น้ำลายที่ผลิตขึ้นในปากจะเป็นตัวที่ช่วยในการละลาย ส่วนประกอบของน้ำลาย ประกอบด้วยน้ำถึงร้อยละ 99 และมีสารพวกอินทรีย์และอนินทรีย์รวมอยู่ด้วย เช่น เอนไซม์ Mucosa เป็นต้น กลไกลการนำสารอาหารหรือยาเข้าสู่ร่างกายทางผนังในช่องปาก จึงเหมาะสำหรับการส่งผ่านโปรตีนที่ถูกย่อยสลายง่าย พอลิแซ็กคาไรด์ สารอาหารที่ละลายน้ำได้ดีและยาที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (Garsuch, 2009)

ส่วนประกอบของฟิล์ม

ชนิดของส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มละลายเร็ว เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะและการแตกตัว การละลายของฟิล์มละลายเร็ว กลไกในการเกิดฟิล์มมาจากสารที่ก่อให้เกิดฟิล์มถูกทำให้เป็นเมทริกซ์โดยเกิดแรงดึงดูด Cohesion ระหว่างโมเลกุลขึ้น เกิดเป็นโครงสร้างของฟิล์มขึ้น

1. สารก่อให้เกิดฟิล์ม

การพัฒนาฟิล์มละลายเร็ว ส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มนั้นมีความสำคัญ มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ ส่วนผสมที่ใช้ในการทำฟิล์ม แรกเริ่มจะใช้ Pullulan เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่ง Pullulan เป็นพอลิเมอร์ผลิตได้จากเชื้อรา *Aureobasidium pullulans* นิยมใช้ทำฟิล์มละลายเร็ว เนื่องจากคุณสมบัติที่ละลายได้เร็วในน้ำ มีความปลอดภัย รับประทานได้ แต่มีราคาแพง ต่อมามีการใช้พอลิเมอร์อื่นที่มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มนำมาเป็นส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้ง แป้งดัดแปร กัม เซลลูโลสอีเทอร์ อัลจิเนต คาราจีแนน เป็นต้น (Cilurzo *et al.,* 2008)

ส่วนประกอบที่ใช้ในการทำฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ฟิล์มที่ได้อาจมีเพียงส่วนประกอบเดียวหรือมีสารหลายชนิดเป็นส่วนประกอบร่วมกัน โดยอาศัยคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ เช่น ฟิลม์ที่มีสตาร์ชและอัลจิเนต หรือฟิล์มสตาร์ช และวุ้นลิปิด ไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น นอกจากจะช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติห่อหุ้มได้ดีแล้วยังทำให้ฟิล์มที่ได้น่ารับประทาน และเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวคิดในการพัฒนาฟิล์มละลายเร็ว โดยใช้สารก่อให้เกิดฟิล์มตัวอื่นๆ นอกจากสาร Pullulan เช่น การพัฒนาแผ่นฟิล์มละลายเร็วที่มีมอลโทเดกซ์ทริน (DE เท่ากับ 12) เป็นส่วนผสมหลัก ใช้กลีเซอรอลเป็น Plasticizers พบว่า อัตราส่วนเหมาะสมของกลีเซอรอลอยู่ในช่วงร้อยละ 16-20 และมีส่วนผสมของยาอย่าง Piroxicam ซึ่งเป็นยาที่ละลายได้ช้าปริมาณมากกว่า 25 มิลลิกรัม ผ่านกระบวนการผลิตแบบ Solvent casting และ Hot-melt extrusion ซึ่งกระบวนการผลิตแบบ Solvent casting เป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มละลายเร็วนี้ แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะและคุณสมบัติที่ดี ผู้บริโภคให้การยอมรับ (Cilurzo *et al.,* 2008) การพัฒนาแผ่นฟิล์มละลายเร็วผสมตัวยา Dexamethasone พบว่า สามารถใช้สารก่อให้เกิดฟิล์ม ดังนี้ Microcrystalline cellulose, Polyethylene glycol, Hydroxypropylmethyl cellulose, Polysorbate 80 และ Low-substituted hydroxypropyl cellulose (Shimoda *et al.,* 2009)

มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin, Starch gum, Starch syrup) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α–(1,4) ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซ์สตาร์ชด้วยกรด หรือเอนไซม์ ไม่มีรสหวาน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543)

มอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่า DE (Dextrose Equivalent) แสดงถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โดยคำนวณในรูปของ ดี-กลูโคส (D-glucose) ของปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมด หรือในทางกลับกัน สามารถบอกถึง จำนวนสตาร์ชที่ถูกไฮโดรไลซ์ ซึ่งบอกได้โดยใช้มวลโมเลกุลหรือเพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจใช้มวลโมเลกุลเฉลี่ยของ Glucose polymer ซึ่งความคงทนของมอลโทเดกซ์ทรินยังขึ้นอยู่กับค่า DE ถ้ามีค่า DE สูงมาก จะค่อนข้างเสถียรและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานโดยไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากถ้ามีค่า DE สูง ออกซิเจนจะผ่านเข้าออกได้น้อย ปัจจุบันมอลโทเดกซ์ทรินเป็นที่นิยมมากเพราะมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่น เช่น กัมอาคะเซียหรือสตาร์ชดัดแปร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัลจิเนต (Alginate)

อัลจิเนตเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล (*Phaeophyceae*) เช่น *Macrocystis pyrifera, Laminaria hyperborean* และ *Ecklonia maxima* เป็นต้น ในระยะยาวอาจมีปัญหาในด้านต้นทุนและแหล่งของวัตถุดิบ จึงมีแนวคิดในการสกัดอัลจิเนตจากแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Pseudomonads syringae* เป็นต้น ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างแตกต่างจากอัลจิเนตที่ผลิตจากสาหร่าย

โครงสร้างของอัลจิเนตประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ 1,4-b-D-manuronic acid (M) และ L-guluronic acid (G) อยู่ในลักษณะ Homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ M-blocks ตามลำดับและยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks อัตราส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสองในโครงสร้างของอัลจิเนตมีผลต่อสมบัติของอัลจิเนต เช่น ความสามารถในการเกิดเจล และความแข็งของเจล ถ้ามี G ในปริมาณสูงจะมีสมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (Polyvalent metal cation) แต่ถ้ามี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้าง

อัลจิเนตที่ผลิตจำหน่ายเป็นการค้ามีหลายอนุพันธ์ จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ ของเกลือ Ca^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NH^{4+} และยังผลิตในรูปของ Propylene glycol alginate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของ Alginic acid กับ Propylene oxide ภายใต้ความดัน อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายอัลจิเนตที่ได้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก

การเกิดเจลของอัลจิเนตชนิดที่เกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} โครงสร้างเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (Egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับสายพอลิเมอร์ ทำให้เกิด Irreversible gel ในน้ำ เย็นเมื่อมี Ca^{2+} รวมอยู่ด้วย ซึ่งคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำนี้ ทำให้อัลจิเนตแตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสาหร่ายสีแดง ซึ่งอัลจิเนตนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้อีมัลชั่นคงตัว สารทำให้เกิดเจล สารยับยั้งการเกิด Syneresis ในผลิตภัณฑ์อาหาร และใช้เป็นสารก่อให้เกิดฟิล์ม โดย Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) กำหนดปริมาณในการบริโภคอัลจิเนตในแต่ละวัน (The Acceptable Daily Intake; ADI) ให้อยู่ในช่วง 0-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักของร่างกาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Plasticizers

Plasticizers เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่ม (Soft) ขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด หล่อแบบ รักษาความอ่อนนุ่มของฟิล์ม ทั่วไปโมเลกุลของพอลิเมอร์แต่ละโมเลกุลจะเชื่อมกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ Plasticizers จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์ลดลง ซึ่งสารที่เป็น Plasticizers ต้องสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ สามารถละลายในตัวทำละลายที่ใช้ในการทำฟิล์มได้ดี ตัวอย่างของ Plasticizers ใช้ในการทำฟิล์มละลายเร็วได้แก่ Glycerol, Sorbitol, Propylene glycol, Polyethylene glycol, Corn syrup, High fructose corn syrup, Fructose, Fruit juice, Sucrose, Maltodextrin, Corn syrup solids, Polydextrose และ Soluble fiber โดยในการขึ้นรูปฟิล์มสามารถใช้ Plasticizers หลายชนิดได้เช่นกัน อาจผสมในขั้นตอนก่อนการเกิดเจลาติไนเซชัน หรือหลังขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชันของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารก่อให้เกิดฟิล์ม

ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอล เป็น D-glucitol ซึ่งเป็น Hexahydric alcohol ที่เกี่ยวข้องกับ Mannose และเป็นไอโซเมอร์ของ Mannitol มีสูตรโมเลกุล $C_4H_{14}O_6$ พบมากในผักและผลไม้หลายชนิด ปัจจุบันสามารถสังเคราะห์ซอร์บิทอลจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนในเดกซ์โทรส โดยใช้นิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันบรรยากาศ 100-150 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ลักษณะซอร์บิทอลเป็นผงผลึก สีขาว หรือไม่มีสี ดูดความชื้นและไม่มีกลิ่น ซอร์บิทอลมีเกรดที่หลากหลาย และมีรูปผลึกที่แตกต่างกัน เช่น แกรนูล แผ่นบาง และเพลเลต ซอร์บิทอลให้รสชาติที่ดี หวาน และ เย็น โดยให้ค่าความหวานประมาณ 50-60 เท่าของน้ำตาลทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติต่างๆ ของซอร์บิทอล

คุณสมบัติ	ซอร์บิทอล
ความเป็นกรดด่าง	4.5 ถึง 7.0 (สำหรับสารละลายร้อยละ 10 w/v)
Heat of solution	-110.9 J/g
จุดหลอมเหลว Anhydous form	110-112 องศาเซลเซียส
Gramma polymorph	97.7 องศาเซลเซียส
ค่าการละลายในน้ำ (อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)	1 ใน 5

ที่มา: ภูริวัฒน์ (2550)

ซอร์บิทอลมีคุณสมบัติค่อนข้างเฉื่อยทางเคมี และเข้ากันได้กับสารส่วนใหญ่ โดยซอร์บิทอลมมีความคงตัวในอากาศที่ปราศจากคะตะลิสต์ และในกรดหรือด่างเจือจางและเย็น ซอร์บิทอลในอุณหภูมิสูงขึ้นจะไม่สลายตัว หรือมีสีเข้มขึ้น ไม่ติดไฟ ไม่กัดกร่อน และไม่ระเหย

ซอร์บิทอลสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ทางเดินอาหารได้ช้ากว่าน้ำตาลทรายมาก และถูกเมตาโบไลซ์ด้วยตับกลายเป็นฟรักโทสและกลูโคส ค่าพลังงานคือประมาณ 4 kcal/g ผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานสามารถทนต่อซอร์บิทอลได้มากกว่าน้ำตาลทราย ดังนั้น จึงสามารถนำซอร์บิทอลไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากน้ำตาล แต่ไม่ควรรับประทานมากกว่าวันละ 20 กรัม ในผู้ใหญ่สามารถทำให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ เพราะซอร์บิทอลมีคุณสมบัติเป็นยาระบายเพิ่มน้ำในลำไส้ (Osmotic laxative)

3. สารให้ความหวาน

สารให้ความหวานที่นำมาใช้ในแผ่นฟิล์มละลายเร็ว เพื่อเพิ่มรสชาติ ช่วยบดบังรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ของสารหรือยาที่เติมลงไปในแผ่นฟิล์ม ได้แก่ Acesulfame-K, Aspartame, Saccharin และ Sucralose เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Sucralose

Sucralose เป็นสารให้ความหวานชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในประเภทสารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร ลักษณะของ Sucralose (1,6-dichloro-1,6dideoxy-ß-D-fructofuranosyl-4-chloro-deoxy-α–D-galactopyranoside) กระบวนการผลิต Sucralose เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลทรายในตัวทำละลาย และตัวเร่งกับคลอรีน (Chorination) โดยคลอรีนจะเข้าไปแทนที่หมู่ OH ของคาร์บอนอะตอมที่ 4 ของกลูโคสและตำแหน่งที่ 1 และ 6 ของฟรักโทส ต้มเคี่ยวในระบบสุญญากาศ จนเกิดการตกผลึก แยกผลึกที่ได้นำไปอบแห้ง

Sucralose มีลักษณะเป็นผงสีขาว หรือเป็นเกล็ด ไม่มีกลิ่น ไม่ดูดความชื้น โดยจะให้ความหวานประมาณ 400 – 800 เท่าของน้ำตาลทราย ระดับความหวานขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และส่วนผสมอื่นๆของอาหาร ตัวอย่างเช่น สารที่ทำให้เกิดเจล แป้ง และไขมัน ความหวานของ Sucralose คล้ายกับน้ำตาลทราย การละลายน้ำของ Sucralose สามารถละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความคงตัวเป็นพิเศษ สามารถรวมตัวกับผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มได้ง่าย

Sucralose ไม่เกิดปฏิกิริยากับส่วนผสมอื่นๆ ของอาหาร ค่อนข้างคงตัว จึงนิยมนำมาใช้กับอาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง เช่น การพาสเจอไรซ์ สเตอริไรซ์ กระบวนการ UHT และการอบ หรือใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงการเก็บยาว ซึ่งจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ

Sucralose ได้รับการยอมรับให้สามารถใช้เป็นสารให้ความหวานจาก Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) โดยกำหนดปริมาณในการบริโภค Sucralose ในแต่ละวัน (The Acceptable Daily Intake; ADI) ให้อยู่ในช่วง 0-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักของร่างกาย ร่ายกายของมนุษย์จะไม่ดูดซึม Sucralose (หรือดูดซึมได้น้อยมากโดยไม่มีการแตกตัว) แต่จะขับ Sucralose ออกมาโดยเร็ว จากการประเมินความปลอดภัยโดยรวม (Comprehensive safety evaluation program) เพื่อจะปฏิบัติตามข้อกำหนดคณะกรรมการแห่งชาติและระหว่างประเทศ จากการศึกษาพบว่า Sucralose ไม่เป็นพิษ, Non- teratogenic, Non- mutagenic และไม่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งด้วย

เนื่องจาก Sucralose เป็นสารให้ความหวานที่ไม่มีคุณค่าทางอาหาร จึงนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานต่ำ เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่ม และหมากฝรั่ง รวมถึงแผ่นฟิล์มละลายเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ส่วนผสมอื่นในฟิล์ม (Carter *et al.,* 2008)

สารเติมแต่งกลิ่นรส เพื่อช่วยเพิ่มความพึงพอใจให้กับผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มละลายเร็ว เช่น น้ำมันหอมระเหย กลิ่นสังเคราะห์ น้ำมันเปปเปอร์มินต์ มินต์ น้ำมันกานพลู กลิ่นผลไม้ หรือน้ำมันหอมระเหยที่มีคุณสมบัติในการฆ่าแบคทีเรียอย่าง Menthol, Eucalyptol, Thymol และอาจมีการผสมผสานหลายกลิ่นในตัวผลิตภัณฑ์เดียว

สารที่กระตุ้นการหลั่งน้ำลาย ได้แก่ กรดต่างๆ เช่น กรดซิตริก และแอสคอร์บิค เป็นต้น

สารให้สี เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีสัน สวยงาม น่ารับประทาน อาจเป็นสีจากธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์ที่ใช้ได้กับอาหาร

อิมัลซิไฟเออร์ การทำให้กลิ่นรสกระจายทั่วสม่ำเสมอในผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตควรมีการทำให้เกิดอิมัลชันของส่วนผสมในการทำฟิล์ม อาจใช้ตัวอิมัลซิไฟเออร์จากธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ผสมในส่วนผสม ตัวอย่างเช่น Lecithin, Fatty acids (C_{10} -C_{18}) mono and diacyl glycerides, Ox bile extract, Polyglycerol esters, Polyethylene sorbitan esters, Propylene glycol, Sorbitan monopalmitate, Sorbitan monostearate และ Sorbitan tristerate เป็นต้น หรืออาจใช้กระบวนการทำให้เกิดอิมัลชัน เช่น การคนอย่างต่อเนื่อง โฮโมจีไนซ์ การใช้คลื่นเสียงความถี่ต่ำ เป็นต้น

สารลดแรงตึงผิว เป็นสารที่ช่วยในการละลายให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยให้ฟิล์มแกะออกจากพิมพ์ได้ง่ายขึ้น หลังจากการขึ้นรูปและทำแห้งแล้ว ได้แก่ Sodium lauryl sulfate, Benzalkonium chloride, Bezthonium chloride และ Tweens เป็นต้น

สารเพิ่มเนื้อ (Bulk filler) เป็นส่วนผสมที่ช่วยลดความเหนียว เป็นเมือกของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มน่ารับประทาน ปริมาณการใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 5-30 ของน้ำหนักฟิล์ม เช่น Microcrystalline cellulose, Cellulose polymers ตัวอย่างเช่น Wood, Magnesium และ Calcium carbonate, Ground limestone, พวก Silicates อย่างเช่น Magnesium และ Aluminum silicate, Clay, Talc, Titanium dioxide, Mono-calcium phosphate, Di-calcium phosphate และ Tri-calcium phosphate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มละลายเร็ว

กระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มละลายเร็ว ได้แก่ Hot-melt extrusion, Solid dispersion extrusion, Rolling, Semi-solid และ Solvent casting

1. การหล่อฟิล์ม (Solvent casting) วิธีที่ใช้มากที่สุดและใช้ในงานวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มอย่างแพร่หลาย โดยส่วนผสมจะละลายอย่างสมบูรณ์ในน้ำเกิดเป็นสารละลายหนืดเนื้อเดียว สารละลายปราศจากฟองจะถูกเคลือบลงบน Non treated casting film ด้วยความหนา 5-10 เซนติเมตรแล้วส่งเข้าสู่ Aerating-drying oven เพื่อทำให้แห้ง หรือส่วนผสมจะถูกขึ้นรูปบนพื้นผิวที่ไม่มีแรงยึด ตัวทำละลาย/น้ำถูกทำให้ระเหย โครงสร้างของพอลิเมอร์เกิดขึ้น

จากนั้นฟิล์มแห้งที่ได้จะถูกตัดให้มีรูปร่างขนาดตามที่ต้องการนำไปใช้ โดยที่ความหนาของฟิล์มละลายเร็วต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวัง เนื่องจากความหนาของฟิล์มละลายเร็วมีผลต่อความสามารถในการละลายของฟิล์ม ซึ่งในการหล่อฟิล์มนั้น สภาวะในกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น มีผลต่อคุณลักษณะของฟิล์มละลายเร็วที่ได้

2. การอัดรีด (Extrusion) เป็นการอัดส่วนผสมที่หลอมให้ไหลผ่านหัวดาย (Die) ที่มีรูปร่างเหมาะสม เป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตฟิล์มสังเคราะห์ทั่วๆ ไป ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้ ตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการนี้ ได้แก่ การผลิตฟิล์มคอลลาเจน เพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

3. การอัด (Compression) เป็นการนำส่วนผสมของฟิล์มมาเติมลงในแบบ แล้วอัดโดยใช้ความร้อน ตัวอย่างเช่น การทำฟิล์มแป้งผสมโปรตีนข้าวโพด หรือซีน (Zein) โดยใช้ซีนละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 75 จากนั้นเติม Plasticizers สี และแป้งลงไป ส่วนผสมถูกทำให้แห้งจนมีลักษณะคล้ายโด (Dough) นำไปกดอัดจนได้รูปร่างที่ต้องการ ซึ่งเวลาในการผลิตทั้งหมดขึ้นอยู่กับความชื้นของโด

ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตฟิล์มละลายเร็วคือ การเกิดฟองในระหว่างการให้ความร้อนของสารละลายที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์มละลายเร็ว การเกิดแผ่นรอยแตกแยกของฟิล์มหรือรอยแตกระหว่างการตัดฟิล์ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติและลักษณะของฟิล์มละลายเร็ว

ชนิดของพอลิเมอร์ และส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มละลายเร็วมีผลต่อคุณลักษณะปรากฏของฟิล์มละลายเร็ว เช่น พื้นผิวของฟิล์ม สี ความเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์ม ความโปร่งใส เป็นต้น นอกจากนี้ลักษณะทางด้านสมบัติทางกลและกายภาพของแผ่นฟิล์มละลายเร็ว ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่น ลำดับขั้นตอนในการผสมส่วนผสม อุณหภูมิในการทำสารละลาย อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณสมบัติทางกลและกายภาพของแผ่นฟิล์มละลายเร็ว โดยการตรวจสอบความหนา ความเหนียวในแบบแห้ง (Dry-track), Tensile strength, Percent elongation, Young's Modulus, Bending length และ Tear resistance ส่วนการตรวจสอบสมบัติเชิงสมรรถนะ (Performance properties) ที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ ได้แก่ Disintegration time, Dissolving time และ Dissolution time

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มละลายเร็ว

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มละลายเร็ว ลักษณะจะเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เปิดใช้ได้ครั้งเดียวหรือหลายครั้ง ได้แก่ Single pouch, Blister card with multiple units, Multiple unit dispenser และ Continuous roll dispenser

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved